

**(1) Japanese Patent Application Laid-Open No. 2002-280637**

The above-identified document corresponds to United States Patent No. 6,605,836, published on August 12, 2003, "Magnetoresistance effect device, magnetic memory apparatus, personal digital assistance, and magnetic reproducing  
5 head, and magnetic information reproducing apparatus", Takahashi et al.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-280637

(P2002-280637A)

(43) 公開日 平成14年9月27日 (2002.9.27)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマト\* (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 2 G 0 1 7

G 0 1 R 33/09

G 1 1 B 5/39

5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

G 1 1 C 11/14

A 5 E 0 4 9

G 1 1 C 11/14

11/15

5 F 0 8 3

11/15

H 0 1 F 10/16

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2001-76614(P2001-76614)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(22) 出願日

平成13年3月16日 (2001.3.16)

(72) 発明者 岸 達也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高橋 茂樹

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

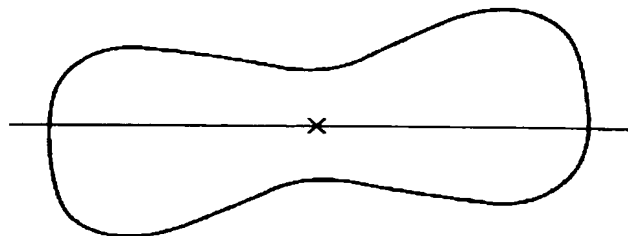
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、その製造方法、磁気ランダムアクセスメモリ、携帯端末装置、磁気ヘッド及び磁気再生装置

(57) 【要約】

【課題】 磁気的に安定でスイッチング磁場が低減された磁気抵抗効果素子とその製造方法を提供する。

【解決手段】 素子端部の幅を中央部分に比較して広くし、磁化容易軸に対して非対称かつ膜面垂直方向を軸としてほぼ回転対称な形状とする。磁気ドメインのS字型構造が安定し、スイッチング磁場が低減する。また、線状パターンエッチングの重ね合わせとEB描画を併用して上記構造を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された絶縁体層と、この絶縁体層上に形成された第2の強磁性層を有し、前記絶縁体層をトンネルして前記第1の強磁性層と第2の強磁性層の間にトンネル電流が流れ、そのトンネル電流または前記第1および第2の強磁性層間に生じる電圧を検出する磁気抵抗効果素子であって、その平面形状が、中央部分の幅より端部の幅が大きいことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記第1および第2の強磁性層の少なくとも一方が、第3の強磁性層と、この第3の強磁性層上に形成された非磁性層と、この非磁性層上に形成された第4の強磁性層を含むことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1の絶縁体層と、この第1の絶縁体層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2の絶縁体層と、この第2の絶縁体層上に形成された第3の強磁性層とを有する磁気抵抗効果素子であって、その平面形状が、中央部分の幅より端部の幅が大きいことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記第1、第2、第3の強磁性層の少なくとも1層が、第4の強磁性層と、この第4の強磁性層上に形成された非磁性層と、この非磁性層上に形成された第5の強磁性層を含むことを特徴とする請求項3に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記平面形状が、磁化容易軸に対して非対称で、膜面垂直方向を軸としてほぼ回転対称であることを特徴とする請求項1乃至4に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 複数のワード線と、この複数のワード線に交差する複数のビット線と、前記複数のワード線と複数のビット線の各交点において、前記ビット線とワード線の間に接続された請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を備えることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

【請求項7】 請求項6に記載の磁気ランダムアクセスメモリを搭載したことを特徴とする携帯端末装置。

【請求項8】 磁気検知部に請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を備えることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項9】 磁気検知部に請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドを搭載することを特徴とする磁気再生装置。

【請求項10】 少なくとも強磁性体／絶縁体／強磁性体の積層体からなる接合領域を形成し、この接合領域を横切る線状パターンのマスクを用いて前記接合領域をエッチングし、このマスクエッチングを位置を変えて複数回実施し、前記接合領域を所定の形状に加工することを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項11】 前記所定の形状の角部に対し、電子ビームによる加工をさらに加えることを特徴とする請求項10に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果素子、その製造方法、磁気ランダムアクセスメモリ、携帯端末装置、磁気ヘッド及び磁気再生装置に関する。

【0002】

10 【従来の技術】固体磁気メモリは従来より様々なタイプのものが提案されているが、近年巨大磁気抵抗効果を示す磁気素子を用いた磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)の提案が行われており、特に磁気メモリとして強磁性トンネル接合を用いた磁気抵抗効果素子(TMR素子)に注目が集まっている。

【0003】強磁性トンネル接合は、主に強磁性層1／絶縁層／強磁性層2の3層膜で構成され、絶縁層をトンネルして電流が流れる。この場合、接合抵抗値は強磁性層1、2の磁化の相対角の余弦に比例して変化する。したがって、抵抗値は強磁性層1、2の磁化が平行のときに極小値、反平行のときに極大値をとる。これはトンネル磁気抵抗(TMR)効果と呼ばれている。例えば最近の文献(Appl. Phys. Lett. 77, 283(2000))では、TMR効果による抵抗値変化は室温において49.7%にもなることが報告されている。

【0004】強磁性トンネル接合をメモリセルとして含む磁気メモリ装置においては、強磁性層のひとつの磁化を固定して基準層とし、他の強磁性層を記憶層とする。このセルにおいて、基準層と記憶層の磁化の配置が平行または反平行に対し2進情報“0”、“1”を対応づけることで情報が記憶される。記録情報の書き込みは、このセルに対し別に設けた書き込み電線に電流を流して発生する磁場により記憶層の磁化を反転させる。また、読み出しは、強磁性トンネル接合に電流を流し、TMR効果による抵抗変化を検出することで行われる。このようなメモリセルを多数配置することで磁気メモリ装置が構成される。

【0005】実際の構成については、任意のメモリセルを選択できるように、例えばDRAM同様に各セルに対しスイッチングトランジスタを配置し、周辺回路を組み込んで構成される。また、ワード線とビット線が交差する位置にダイオードとあわせて強磁性トンネル接合を組み込む方式も提案されている(米国特許第5,640,343号、第5,650,958号参照)。

【0006】さて、強磁性トンネル接合をメモリセルとして用いる磁気メモリ装置の高集積化を考えると、メモリセルの大きさは小さくなり、セルを構成する強磁性体の大きさも必然的に小さくなる。一般に、強磁性体が小さくなるとその保磁力は大きくなる。

50 【0007】保磁力の大きさは、磁化を反転するために

必要なスイッチング磁場の大きさの目安となるので、これはスイッチング磁場の増大を意味する。よって、情報を書き込む際にはより大きな電流を書き込み配線に流さなければならなくなり、消費電力の増加という好ましくない結果をもたらす。従って、磁気メモリのメモリセルに用いられる強磁性体の保磁力を低減することは、高集積化磁気メモリの実用化において重要な課題である。

【0008】また、磁気メモリのメモリセルとして用いる場合、その平面形状が長方形をした強磁性体を用いることが一般に考えられている。しかし、長方形の微小強磁性体の場合には、端部にエッジドメインと呼ばれる特殊な磁区が生じることが知られている（例えば、J. Appl. Phys. 81, 5471 (1997) 参照）。これは、長方形の短辺では反磁場エネルギーを低減するために、磁化が辺に沿うようにして渦状に回転するパターンを形成するためである。このような磁気構造の一例は、図45に示されており、磁化領域の中央部分においては磁気異方性に従った方向に磁化が生じるが、両端部においては、中央部分と異なる方向に磁化が生じる。

【0009】この長方形の強磁性体に対して、磁化反転を考えると、エッジドメインが成長してその領域を大きくしていくように進行することが知られている。ここで、長方形の両端部のエッジドメインを考えると、互いに平行方向に向いている場合（図45(a)、S型構造）と反平行方向に向いている場合（図45(b) C型構造）とがある。反平行方向に向いている場合、360度磁壁が形成されるため、保磁力が大きくなる。この課題を解決するために、記憶層として楕円形の強磁性体を用いることが提案されている（米国特許第5,757,695参照）。これは、エッジドメインが強磁性体の形状に対し大変敏感であるという性質を利用して、長方形等の場合の端部に生じるエッジドメインの発生をおさえ、単磁区を実現することで、強磁性体全体にわたって一様に反転させることができるようにしたもので、反転磁場を小さくすることができる。

【0010】また、記憶層として、平行四辺形のように、その隅に直角でない角度を持つ形状の強磁性体を用いることが提案されている（特開平11-273337参照）。この場合、エッジドメインは存在するが、長方形の場合ほど大きな領域を占めず、さらに磁化反転の過程で複雑な微小ドメインを生成することなく、磁化をほぼ一様に反転させることができる。その結果として反転磁場の低減が図られる。

【0011】また一方では、形状は長方形のままであるが、少なくとも二つの強磁性層を含み、それらの間に介在する非磁性層からなる多層膜において、上記の強磁性層の間に反強磁性結合を含むものをに用いることが提案されている（特開平9-25162、特願平11-263741、米国特許第5,953,248参照）。

【0012】この場合、二つの強磁性層は、その磁気モ

メントまたは厚さが異なっており、反強磁性的結合により磁化が逆方向を向いている。このため、実効的に互いに磁化が相殺し、記憶層全体としては、磁化容易軸方向に磁気モーメントの差または膜厚差に対応した小さな磁化を持った強磁性体と同等と考えることができる。この記憶層の持つ磁化容易軸方向の小さな磁化の向きと逆向きに磁場を印加すると、各強磁性層の磁化は、反強磁性結合を保ったまま反転する。この構造では磁力線が閉じていることから反磁場の影響が小さく、記録層のスイッチング磁場は、各強磁性層の保磁力差により決まるため、小さなスイッチング磁場で磁化の反転が可能になる。

【0013】ところで、MRAM応用のTMR素子においては、高集積化への要求からサブミクロンの素子サイズが求められている。そこで、サブミクロンサイズのTMR素子を電子ビーム（EB）描画を用いて作製する例（W. J. Gallagher et al., J. Appl. Phys. 81, 3741 (1997) 参照）について、その作製プロセスを図46の断面図（左側）と上面図（右側）を用いて簡単に説明する。

まず図46(a)に示すように、Si基板461上に主に磁性金属からなる下部電極462、Al酸化物バリア463、主に磁性金属からなる上部電極464の3層構造を含む多層構造をマグネトロンスパッタ装置により堆積し、その多層構造をフォトリソとイオンミリングを用いてエッチングすることにより下部電極を形成する（ここでは下部電極の一部の接合部付近のみを示す）。次に図46(b)に示すように、EB描画によって接合部分にネガ型のEBレジスト456のパターンを形成し、それを用いて2回目のイオンミリングを行いサブミクロンサイズの接合部のパターンを形成する。このイオンミリングでは、酸化物バリア463を突き抜けて下部電極462の上部でエッチングが止まるように制御する。

【0014】次に図46(c)に示すように、接合部にEBレジスト465を残したまま、SiO<sub>2</sub>絶縁膜466をマグネトロンスパッタ装置によって堆積する。最後に図46(d)に示すように、SiO<sub>2</sub>絶縁膜の下にあるEBレジストを用いたリフトオフプロセスにより、接合部上に自己整合的にコンタクトホールを露出させ、その後Ag/Auの上部配線467をフォトリソのリフトオフを用いたパターンニングにより作製し、上部電極にコンタクトを形成する。

【0015】このEB描画を用いた自己整合的なTMR素子の製造方法により、サブミクロンの接合サイズを持つTMR素子が得られているが、強磁性体金属/酸化物絶縁体/強磁性体金属という基本構造を持つ多層構造上に直接EB描画を行うために幾つかの問題点があった。

【0016】それは、図46(b)においてEB描画による接合部へのサブミクロンサイズのレジストパターンニングが行われるが、磁性金属を含む多層構造へのEB描

画プロセスにおいては、金属による電子線の後方散乱が半導体材料よりも強く、その結果として得られる描画パターンが大きく広がってしまういわゆる近接効果が顕著になり、描画パターン形状の微細性・制御性が失われてしまう。その結果として図46(b)に示すように接合部の形状として矩形を描画した場合にも、実際に得られる形状は角部の先鋭性が著しく失われた形状となってしまう。

【0017】ここで、TMR素子の接合部の平面形状とその磁気的特性である保持力(Hc)の間には密接な関連があり、角が丸まった矩形では角の先鋭性が強い矩形よりも保持力が2倍程度にも大きくなってしまふことが判明している。その結果、MRAMの動作にとって重要な低保持力特性を持つTMR素子が得られなくなるといふ問題があった。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、記録層の磁化を反転する磁場（スイッチング磁場）の低減は、磁気メモリにおいて必要不可欠な要素であり、いくつかの形状や、反強磁性結合を含む多層膜を用いることが提案されている。

【0019】しかしながら、高集積化磁気メモリに用いられるような小さな磁気メモリセル内に置かれる微小な強磁性体においては、例えばその短軸の幅が数ミクロンからサブミクロン程度以下になると、磁化領域の端部においては反磁場の影響により、磁性体の中央部分の磁気的構造とは異なる磁気的構造（エッジドメイン）が生じることが知られている。

【0020】高集積化磁気メモリのセルに用いられるような微小な磁性体においては、上記のようにその端部に生じるエッジドメインの影響が大きく、磁化反転における磁気的構造パターンの変化が複雑になる。その結果保持力が大きくなり、またスイッチング磁場が増大する。

【0021】このような複雑な磁気的構造の変化が生じることをできるだけ防ぐ方法として、エッジドメインを固定することが考えられている（米国特許第5,748,524、特開2000-100153参照）。

【0022】これにより磁化反転の際の挙動が制御できるが、実質的にスイッチング磁場の低減は図れない。また、エッジドメインを固定するために別の構造を付加する必要がある、高密度化には適さない。

【0023】上記のように、サブミクロンの強磁性体／絶縁体／強磁性体の接合を有するTMR素子を作製するためにEB描画プロセスを用いていたが、金属多層構造上へのEB描画では近接効果が著しく形状制御した微細パターン形成が困難であるため、低保持力特性のTMR素子を得ることが困難になるという問題があった。これは、本質的にリソグラフィプロセスでは解像度の限界近傍では、矩形形状を形成した場合にその角部の先鋭性が著しく失われるという、フォトリソグラフィにも共通す

る問題に起因している。

【0024】本発明の第1の目的は、新たに構造を付加することなく、上記のような高密度集積化可能な程度に微小な磁気メモリセルにおいて、安定な磁気的構造をもつセルを提供することであり、同時にセルに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁場を低減することにある。さらに、磁気的に安定で、かつスイッチング磁場が十分低減された磁気メモリセルを構成し、そのような磁気メモリセルを用いたランダムアクセス可能な非破壊磁気メモリを提供することにある。

【0025】本発明の第2の目的は、本発明の磁気抵抗効果素子に好適な容易かつ生産性の良い製造方法を提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するために、本発明の第1の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された絶縁体層と、この絶縁体層上に形成された第2の強磁性層を有し、前記絶縁体層をトンネルして前記第1の強磁性層と第2の強磁性層の間にトンネル電流が流れ、そのトンネル電流または前記第1および第2の強磁性層間に生じる電圧を検出する磁気抵抗効果素子であって、その平面形状が、中央部分の幅より端部の幅が大きいことを特徴とする。

【0027】また、本発明の第2の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1の絶縁体層と、この第1の絶縁体層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2の絶縁体層と、この第2の絶縁体層上に形成された第3の強磁性層とを有する磁気抵抗効果素子であって、その平面形状が、中央部分の幅より端部の幅が大きいことを特徴とする。

【0028】即ち、本発明では、磁気メモリセルとして用いる強磁性層を含む磁気抵抗効果素子において、微小な強磁性体に特有の磁気的構造を利用し、別の構造を付与することなくその磁気的構造を制御することにより、スイッチング磁場の低減を図る。

【0029】このために、特有の磁気的構造、特にエッジドメインを制御し、スイッチング磁場を低減するために好適な素子形状を用いる。この素子形状は、従来技術とは異なり、例えば平行四辺形のようにエッジドメインの領域を縮小することではなく、むしろある大きさの領域を与える。また、端部にバイアス磁場をかけてエッジドメインを固定することなく、磁化反転の核として作用させる。

【0030】これを行なうために、素子端部の幅を中央部分に比較して広くとり、磁気ドメインのS型構造を安定化させ、その結果としてスイッチング磁場を低減する。さらに磁化容易軸について非対称かつ膜面垂直方向を軸としてほぼ回転対称な形状とすることで、スイッチ

ング磁場の低減をより確実に行うことができる。この形状は、図1に示すようなものとなる。図中の直線は磁化容易軸、x印は回転対称軸の位置を示している。

【0031】また、本発明の磁気抵抗効果素子の製造方法は、少なくとも強磁性体／絶縁体／強磁性体の積層体からなる接合領域を形成し、この接合領域を横切る線状パターンのマスクを用いて前記接合領域をエッチングし、このマスクエッチングを位置を変えて複数回実施し、前記接合領域を所定の形状に加工することを特徴とする。

【0032】本発明では、TMR素子の接合部に関わる微細構造を、複数の交差した線状パターン形成の方法により作製する。これにより、主にリソグラフィの限界性能による前述の問題点を解決する。つまり、この交差した線状パターンによる接合部作製プロセスは、リソグラフィ的に微細描画性や制御性の高い線状パターンによるパターン形成を行っているために、微細な矩形形状でも角部の先鋭性が失われることが少なく、形状制御性の良いパターンニングを行うことが出来る。その結果として、高集積化が可能なサブミクロンの微細構造を有する高性能なTMR素子を容易にかつ高い歩留まりで作製できる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0034】（第1の実施形態）第1の実施形態では、本発明の基本的な構成について、計算機シミュレーションの結果の一例を用いて説明する。図2は、本発明の第1の実施形態に係る磁性体膜の平面図である。第1の実施形態の磁性体膜はS字状の鉤型をしており、素子の中央部分と端部で幅が異なる。即ち、強磁性体膜は中央部分においては幅0.1 $\mu$ m、端部においては0.15 $\mu$ m、長さは0.4 $\mu$ m、厚さは1.5nmである。

【0035】図2の形状は、各頂点が90度の角度をもつ多角形であるが、これに限定するものではなく、特に、各頂点は90度に限定するものではない。また、各辺も直線である必要はなく、一般に曲線で構成されていてもよい。

【0036】また、素子サイズも上記に限定するものではないが、最大幅が1 $\mu$ m程度より小さいものが好ましく、長さも最大幅の1倍から10倍が好ましい。強磁性体の厚さは10nm以下がよく、5nm以下がより好ましい。特に、高集積化のためには、素子サイズは小さいことが好ましい。

【0037】強磁性層に用いる材料として、このシミュレーションではCo<sub>90</sub>Feを用いているが、磁性材料はFe、Co、Niやそれらの積層膜、合金等、通常用いられる磁性材料でよい。また、Cu、Au、Ru、Al等、金属非磁性材料からなる層を含む積層膜であってもよい。

【0038】この系のヒステリシスについて、シミュレーションの結果得られたものを図3に示す。図3から、保磁力H<sub>c</sub>は242エルステッド(Oe)と求められる。また、図3は、本発明の磁気抵抗効果素子においてはスイッチング磁場H<sub>sw</sub>と保磁力H<sub>c</sub>の差がそれほど大きくないことを示している。即ち、磁化反転過程において、微小な磁気ドメインが複雑な形で発生していないことを意味している。

【0039】第1の実施形態における磁気ドメインのパターンの変化を図4に示す。図4では、左方向をプラスの向きとして、外部磁場Hを+1000エルステッドから-1000エルステッドまで変化させたときの磁気ドメイン構造の変化の様子を示した。

【0040】外部磁場がH=+300エルステッドのときに(b)、端部の磁化方向が磁化容易軸から向きを変化させ始め、H=0エルステッドのとき(c)、S型の磁気ドメイン構造をとって安定化する。さらに、外部磁場が負の方向に大きくなると(d)、端部の幅が広い部分で磁化方向が大きく回転していることがわかる。さらに外部磁場が負に大きくなると(e)、完全に反転した磁気ドメイン構造となる。

【0041】磁化の反転時には、エッジドメインが拡大し、エッジドメインと中央部の磁気ドメインとの間にあるドメインウォールが素子中央方向に動いていくことで磁化が反転しており、外部磁場掃引時のすべての値に対して、複雑なドメイン構造は出現しない。従って、小さな磁場で反転が可能になるとともに、磁化を完全に反転させるために必要なスイッチング磁場も小さいものが実現できる。

【0042】なお、この系では飽和磁化に対する残留磁化の割合が0.86となっている。これは、エッジドメインが存在しているためである。一般に、強磁性体の磁化方向にずれや乱れた部分があり、飽和磁化に対する残留磁化の割合が1より小さくなっているとき、その強磁性体を用いた強磁性トンネル接合では、ずれや乱れの無い場合に比べて、トンネル磁気抵抗比(MR比)が減少する。しかし、この系では絶縁層を含め上下の強磁性層が同じ形状になっているため、上下の強磁性層はほぼ同様の磁気ドメイン構造を持っている。従って、飽和磁化に対する残留磁化の割合が1より小さくなっているにもかかわらず、磁化方向のトンネル磁気抵抗の減少は殆どない。

【0043】本発明が効果的であることを示すために、いくつかの形状について保磁力を比較したものを図5に示す。この図では、厚さ2.0nm、長さ0.4 $\mu$ m、中央の幅を0.1 $\mu$ mとし、形状(f)、(g)における端部の幅は0.15 $\mu$ mとしてシミュレーションを行った結果を示している。

【0044】図5において、例えば形状(b)のような、長方形の相対する二つの頂点を切り落とした形状の

ものが保磁力が低いことは、上記の平行四辺形の場合と同じ理由による。しかし、最も保磁力が小さくなるのは、本発明の形状である図中の形状（g）のものであることがわかる。

【0045】また、別の比較例の一つである平行四辺形の場合の磁気ドメイン構造を図6に示す。図からわかるように、この場合には、斜辺に沿ったわずかな領域においてのみ、磁化が磁化容易軸とは異なる方向に向き、エッジドメインを減少させるような形状となっている。

【0046】一方、本発明では、図2のように磁化が分布しており、エッジドメインの領域は拡張されている。上記図6の比較例の場合、保磁力は249エルステッドとなり、図2に示した本発明の場合は、これに比べて若干ではあるが小さくなっている。

【0047】（第2の実施形態）図7は、本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の平面図である。第1の実施形態では、幅広の素子端部の幅は一定であったが、第2の実施形態では、素子端部の幅が幅広部内で変化している。この形状のため、幅広部分で磁化の方向が順次変化していることがわかる。

【0048】強磁性層に用いる材料として、このシミュレーションでも第1の実施形態と同様に、 $\text{Co}_9\text{Fe}$ を用いているが、磁性材料は $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$ やそれらの積層膜、合金等、通常用いられる磁性材料でよい。また、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Al}$ 等、金属非磁性材料からなる層を含む積層膜であってもよい。

【0049】第2の実施形態における磁化曲線は、図8に示されている。図8から、保磁力 $H_c$ は148エルステッド（ $\text{Oe}$ ）と非常に低くなり、さらに、飽和磁化に対する残留磁化の割合が0.96と高く保たれていることがわかる。

【0050】（第3の実施形態）第1および第2の実施形態では、強磁性体の単層膜についてのみ述べたが、少なくとも2層の強磁性体とその間に介在する少なくとも1層の絶縁層あるいは非磁性金属層からなる積層膜を含む場合にも同様の結果が得られる。

【0051】図9（a）は、強磁性層1と強磁性層3が絶縁層2を介して積層された強磁性一重トンネル接合構造の断面図である。この積層構造に対しても、第1或いは第2の実施形態の平面形状を付与することにより、保持力の小さい磁気抵抗効果素子10を得ることができる。

【0052】この場合、強磁性層1または3のいずれか一方の外側に反強磁性層付与した、いわゆるスピバルブ型にしてもよい。図9（b）は図9（a）の強磁性層1を強磁性層1-1と強磁性層1-2が非磁性層6を介して積層された三層構造としたものである。この三層構造は、強磁性層3の部分置換してもよい。さらに、強磁性層、非磁性層が繰り返して積層された多層膜で置換することもできる。

【0053】図10は、強磁性層11と強磁性層13が絶縁層12を介して積層され、さらに強磁性層13は強磁性層15と絶縁層14を介して接合された強磁性二重トンネル接合構造の断面図である。この積層構造に対しても、第1或いは第2の実施形態の平面形状を付与することにより、保持力の小さい磁気抵抗効果素子20を得ることができる。この場合、強磁性層1、3の外側に反強磁性層を付与した、いわゆるスピバルブ型にしてもよい。

10 【0054】図11は、図10の強磁性層11を、強磁性層11-1と強磁性層11-2が非磁性層16を介して積層された3層構造としたものである。この3層構造は、非磁性層16を介して反強磁性結合記録層を形成するものである。この3層構造は、強磁性層15の部分置換してもよく、強磁性層11、15の少なくとも1層に適用することができる。

【0055】この積層構造に対しても、第1或いは第2の実施形態の平面形状を付与することにより、保持力の小さい磁気抵抗効果素子30を得ることができる。

20 【0056】図12は、図10の強磁性層13を、強磁性層13-1と強磁性層13-2が非磁性層17を介して積層された3層構造としたものである。この積層構造に対しても、第1或いは第2の実施形態の平面形状を付与することにより、保持力の小さい磁気抵抗効果素子40を得ることができる。

【0057】なお、図12の構成に対し、強磁性層11、15の少なくとも1層を強磁性層／非磁性層／強磁性層の3層構造とすることもできる。また、図11の構成に対し、さらに絶縁層、強磁性層を所望の回数積層してもよい。

30 【0058】図13は、 $\text{Co}_9\text{Fe}/\text{Ru}/\text{Co}_9\text{Fe}$ の3層構造に関して、平面形状を変えた場合の保持力 $H_c$ の値を比較したものであり、本発明の形状（d）、

（e）が通常の長方形のものに比べ、保磁力が大きく低減できることがわかる。

【0059】第3の実施形態において、磁性材料、バリア層材料等は下記のように選択することができる。本発明の強磁性層の元素、種類は、特に制限はなく、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$ またはそれら合金、スピン分極率の大きいマグネタイト、 $\text{CrO}_2$ 、 $\text{R}x\text{MnO}_{3-y}$ （ $\text{R}$ ：希土類、 $\text{X}$ ： $\text{Ca}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ ）などの酸化物の他 $\text{NiMnSb}$ 、 $\text{PtMnSb}$ 等のホイスラー合金、 $\text{Zn-Mn-O}$ 、 $\text{Ti-Mn-O}$ 、 $\text{CdMnP}_2$ 、 $\text{ZnMnP}_2$ などの磁性半導体を用いることができる。

40 【0060】本発明の強磁性層の膜厚は超常磁性にならない程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。また、あまり厚いとスイッチング磁場が大きくなってしまいうため、2.5nm以下で有ることが好ましい。また、これら磁性体には $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Bi}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{N}$ 、 $\text{P}$

d、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素が多少含まれていても強磁性を失わない限り良い。

【0061】反強磁性膜は、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO等が使用できる。非磁性層としては、Cu、Au、Ru、Ir、Rh、Agなどを用いることができる。反強磁性結合として用いる場合（ピン層の場合）は、Ru、Ir、Rhが好ましく、強磁性結合として用いる場合（記録層の場合）は、Cu、Au、Agが好ましいが、膜厚等により調整も可能なので、これらに限られるものではない。

【0062】本発明の誘電体または、絶縁層としては、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $MgO$ 、 $AlN$ 、 $AlON$ 、 $GaO$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $SrTiO_2$ 、 $AlLaO_3$ などの様々な誘電体を使用することができる。これらは、酸素、窒素欠損が存在していても構わない。

【0063】誘電体層の厚さはTMRの接合面積に依存し、3nm以下であることが好ましい。基板は特に制限はなく、Si、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 等各種基板上に作製できる。その上に、下地層、保護層として、Ta、Ti、Pt、Pd、Au等の単層膜や、Ti/Pt、Ta/Pt、Ti/Pd、Ta/Pd等の積層膜を用いることが好ましい。

【0064】次に、上述の第1乃至第3の実施形態で述べた磁気抵抗効果素子を作製するための製造方法について述べる。一般にこのような素子形成は、膜形成後にレジストを塗布し、光・電子ビーム・X線のいずれかを用いてパターンを形成し、現像してレジストパターンを形成、これをマスクとしてイオンミリングまたはエッチングを行ない、パターンを形成した後、レジストを剥離するというプロセスを経て行なわれる。

【0065】比較的大きなサイズ、例えばミクロンオーダーの磁気抵抗効果素子を作製する場合には、TMR膜をスパッタ後に酸化シリコン、窒化シリコン等のハードマスクを作製し、反応性イオンエッチング(RIE)により、例えば図2や図7に示されるような本発明における磁気抵抗効果素子のパターンを形成する。この試料をイオンミリングすることで磁気抵抗効果素子が作製できる。

【0066】より小さい磁気抵抗効果素子、例えば、2~3 $\mu m$ 程度から0.1 $\mu m$ 程度のサブミクロンサイズの素子作製においては、光リソグラフィーを用いることができる。この場合は、あらかじめ本発明における磁気抵抗効果素子の形状パターンを持つハードマスクを作製しておき、パターン形成することで作製できる。

【0067】さらに小さなサイズ、例えば0.5 $\mu m$ 程度以下の素子作製については、電子ビーム露光を用いることができる。しかし、この場合には素子自体が小さいため、本発明におけるエッジドメイン領域を広げるための形状部分はさらに小さくなり、作製が大変困難にな

る。

【0068】上記のような小さなサイズの素子を作製するために、電子ビームの近接効果補正を利用することもできる。通常、近接効果補正は、電子ビームの基板からの後方散乱により生じる図形内近接効果を補正し、正しいパターンを形成するために用いられるものである。例えば、長方形のパターンを形成する場合、頂点付近では蓄積電荷量が不足し、長方形の頂点が丸くなるという現象がみられる。頂点をはっきりさせるために、頂点付

10 近、特に0.5 $\mu m$ 程度以下の素子の場合には、図形の外側に補正点ビームを打ち込んで蓄積電荷量を増やすことで、正常なパターンを得ることができる。この方法を応用して素子端部の幅が広がった本発明の形状を形成することができる。

【0069】例えば、第1あるいは第2の実施形態の図2あるいは図7の形状を形成する場合、長方形を基本パターンとし、相対する2頂点付近にそれぞれ補正点ビームを打ち込むことで端部の幅の広い形状が形成可能となる。

20 【0070】この時、通常の近接効果補正の場合に比べて打ち込む電荷量を多くするか、または補正点ビームの打ち込み位置を適当に調節するか、またはその両方を用いて、頂点を回復する以上に形状を補正することができる。そのようにすることにより、本発明の形状を形成することが可能となる。さらに、例えば図2の素子形状を形成するために、複数点の補正点ビームを照射することも可能である。

30 【0071】上記のように、長方形の端部が幅広の本発明の形状を実現するためには、長方形の素子を形成後補正ビームを打つことで形成できるが、その前段階にサブミクロンの微細な長方形形状を実現する必要がある。従来技術では、このような形状を実現しようとする角部が丸くなってしまう問題があった。第4乃至第6の実施形態では、このような問題を解決する実施形態について説明する。

40 【0072】(第4の実施形態)図14は、本発明の製造方法の主旨を模式図で示したものである。前述のように、通常のリソグラフィで矩形形状を形成した場合、フォトリソグラフィでは約0.5 $\mu m$ 以下、EBリソグラフィでも約0.2 $\mu m$ 以下になると、矩形形状の角の先鋭化が著しく失われてしまう。この問題に対する対策として、フォトリソグラフィでは光の反射に対する近接効果補正、EBリソグラフィでは電子の後方散乱に対する近接効果補正が検討されているが、補正の操作に時間がかかるという問題があり、また0.1 $\mu m$ サイズでは十分な効果を上げられない。

50 【0073】それに対し、リソグラフィにおける線状パターンの幅制御性は非常に良く、フォトリソグラフィでも0.2 $\mu m$ 以下の幅、EBリソグラフィならば0.1 $\mu m$ 以下の幅を正確に規定することが出来る。この事実



を応用すると、図14に示すように、目的の矩形パターン51(斜線部)を形成するために、まず第1の線状パターン52をリソグラフィで形成してマスク層としてそれ以外の領域をドライエッチングで除去する。その後、第2の線状パターン53を第1の線状パターンと直交するようにリソグラフィで形成してマスクとし残った矩形外の領域をドライエッチングで除去する。これにより、矩形パターンの角部54として非常に先鋭なパターンを形成することが出来る。

【0074】図14の方法を基本として、以下の実施形態に述べるように、種々な形に変形して適用することが出来る。

【0075】まず第4の実施形態として、線状パターン形成とドライエッチングを2回繰り返すことによりTMR素子の接合部形状を角部の先鋭性を保ったまま形成した方法について説明する。

【0076】図15乃至図26は上記のような角部の先鋭性が保たれたTMR素子の作製プロセスを説明するものであり、各工程毎に右側(b)に上面図と左側(a)に接合部の中心付近の(上面図中のA-A'線に沿った)断面図を示す。

【0077】まず、図15に示すように、Siからなる基板61上全面にTaの下部配線層62、磁性金属の多層膜を含む強磁性体/絶縁体/強磁性体構造からなる磁気トンネル接合(MTJ)層63、Taのコンタクト層64を連続的に堆積する。上面図には、後にTMR素子(接合部)65となる領域を破線で示している。

【0078】次に図16に示すようにフォトリソグラフィにより下部配線のパターンを形成した後、レジスト(不図示)をマスクとしてCl<sub>2</sub>とArの混合ガスによる反応性ドライエッチングを用いて下部配線パターンを基板面までエッチングする。

【0079】次に図17に示すように、ドライエッチングしたパターン全体をSiO<sub>x</sub>の絶縁層66で埋め込み、CMPまたはエッチバックのプロセスによりTaのコンタクト層が露出するまで平坦化を行う。

【0080】次に図18に示すように、接合部を形成するための第1の線状パターンを目的とする接合部の長さよりも長い範囲にわたるようにレジスト67によって形成する。このとき、第1の線状パターンの幅はこのTMR素子の最小寸法となるが、0.1μm程度までならばフォトリソグラフィにより容易に制御性良く形成することが出来、またそれ以下の場合はEBリソグラフィで形成すればよい。

【0081】次に図19に示すように、レジスト67の線状パターンをTaのコンタクト層64に転写し、その後レジスト67を剥離する。この時、F系の反応ガスとして例えばSF<sub>6</sub>を用いて反応性のドライエッチングを行うと、レジスト67による線状パターンを正確にTaのコンタクト層64およびSiO<sub>x</sub>絶縁層66に転写す

ることが出来る。また、MTJ層63の磁性金属はF系ガスのドライエッチングに対して耐性があるため、Taのコンタクト層64だけを線状パターンに形成できる。

【0082】次に図20に示すように、Taのコンタクト層64をマスクとして下地のMTJ層63をイオンミリングする。ここで、Taはイオンミリングに対してはハードマスクとして十分な耐性を持つため、ビームエネルギー400eVのArイオンミリングをTaの下部配線層62が露出するまで行った場合にもマスクの後退や膜厚の減少は少なく、Taの線状パターン64を良好にMTJ層63に転写することが出来る。

【0083】上記のMTJ層63のエッチングには、イオンミリングに代えて、Cl<sub>2</sub>とArの混合ガスによる反応性ドライエッチングを用いてもよい。この場合、マスク層としては、ダイヤモンドライカーボン(DLC)、AlO<sub>x</sub>、SiO<sub>2</sub>や多層レジストマスク等のC1系エッチング耐性に優れたものを用いる。同時にエッチングする絶縁膜66(66')にはTEOS等のややC1系エッチング耐性を弱めたものを用いることが好ましい。また、この場合はコンタクト層64上にマスク層を予め形成しておく必要がある。

【0084】次に図21に示すように、再びSiO<sub>x</sub>の絶縁層66'で埋め込み、平坦化を行ってTaのコンタクト層64を露出させる。続いて図22に示すように、接合部の残った他の2辺を規定し、かつ接合部に対して十分に長い第2の線状パターンを有するレジスト68を、フォトリソグラフィによって形成する。

【0085】次に図23に示すように、レジスト68による第2の線状パターンをF系の反応性ガスを用いてドライエッチングにより、下地のTaのコンタクト層64に転写する。

【0086】次に図24に示すように、Taのコンタクト層64に形成された第2の線状パターンをハードマスクとして用いて、イオンミリングによりTaの下部配線層62に達するまでMTJ層63をエッチングする。この工程迄で、MTJ層63は最終的なTMR素子65の形状に加工され、その接合部の矩形形状は、角部の先鋭性を保ったまま形成される。

【0087】第4の実施形態では、接合部の形状として矩形の場合を示しているが、第2の線状パターンを第1の線状パターンに直交させるのではなく、傾けて形成することも可能であり、その場合にはやはり低保持力特性をもつ並行四辺形の接合部を形成することが出来る。

【0088】次に図25に示すように、再度全体をSiO<sub>x</sub>絶縁膜で埋め込み、平坦化して、Taのコンタクト層64を露出させる。最後に図26に示すように、Ti/TiN/AlCu/Tiからなる上部配線層69を全面に堆積した後、フォトリソグラフィとドライエッチングによりパターンニングを行うことにより、角部が直角に形成された長方形のTMR素子63が完成する。

【0089】また、前述したような接合部63を形成した後に上部配線層69を形成するプロセスの他にも、図21の後の工程として、先に上部配線層を全面に堆積した後、第2の線状パターンを形成し、その後上部配線ごと接合部を線状にパターニングするプロセスも可能である。その場合は上部配線形成のためのリソグラフィプロセスが不要になるという利点がある。

【0090】さらにまた、上部配線を第2の線状パターン形成と同時に進行する場合にば、MRAMに好適な矩形形状として第2の線状パターン幅は幅広いものを形成することが出来るため、TMR素子の接合部に電流磁界を印加する主要な配線として働く上部配線の幅を、より高磁場印加が可能な幅広い状態で形成することも可能である。

【0091】（第5の実施形態）次に第5の実施形態として、線状パターン形成とドライエッチングを2回繰り返すことにより、TMR素子の接合部形状を角部の先鋭性を保ったままエッチングするためのハードマスクを形成する方法について説明する。

【0092】図27乃至図38は、角部が直角の微細なTMR素子の作製プロセスを説明するものであり、各工程毎に右側に上面図（b）と左側に接合部の中心付近の（上面図のA-A'線に沿った）断面図を示す。図27から図29までの工程は、図15から図17までの工程と全く同様とすることができるため、ここでは重複する説明を省略する。但し、71はSi基板61、72はTaの下部配線層、73は磁性金属の多層膜を含む強磁性体／絶縁体／強磁性体構造からなる磁気トンネル接合（MTJ）層、74はTaのコンタクト層、75は後にTMR素子（接合部）となる領域である。

【0093】図29の工程に引き続き、図30に示すように、平坦化した表面全体に接合部を規定するためのドライエッチングマスクとなるCrのマスク層77を堆積する。

【0094】次に図31に示すように、第1の線状パターンを有するレジスト78をフォトリソグラフィにより形成する。次に図32に示すように、レジスト78による第1の線状パターンをCl<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガスによるドライエッチングを用いて下地のCrマスク層に転写する。この時、Crのマスク層が薄いことにより、Crマスク層のドライエッチングを行っても下地のTa74、およびSiO<sub>2</sub>絶縁膜76の平坦性には殆ど影響を与えない。

【0095】次に図33に示すように、第2の線状パターンを有するレジスト79を第1の線状パターン（78）と直交するようにフォトリソグラフィにより形成する。

【0096】次に図34に示すように、レジスト79の第2の線状パターンをやはりCl<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガスによるドライエッチングを用いて下地のCrマスク層77

に転写する。こうして2回の線状パターン形成とドライエッチングの工程により、Crマスク層77は最終的な接合部75の形状として角部の先鋭性が保たれたままパターニングされる。

【0097】ここで、以下に述べるようにこのCrマスク層77と下地のTaコンタクト層74のドライエッチング選択比が大きいことにより、Crマスク層77の膜厚は約20nmと薄く形成することが出来るため、図32の第1の線状パターンの転写後は、特に埋め込みと平坦化の工程を経ることなく、図33あるいは図34といった第2の線状パターンの形成と転写を、接合部の形状を損なうこと無しに行うことが出来る。

【0098】次に図35に示すように、良好な矩形パターンとして形成されたCrマスク層77を用いて、SF<sub>6</sub>のドライエッチングによりTaのコンタクト層74をエッチングする。

【0099】次に図36に示すように、良好な矩形パターンとして形成されたTaコンタクト層74をマスクとして用いて、ArイオンミリングによりMTJ層73を下地のTaの下部配線層72が露出するまでエッチングする。

【0100】MTJ層73のエッチングには、第4の実施形態と同様に、Arイオンミリングに代えて、Cl<sub>2</sub>とArの混合ガスによる反応性ドライエッチングを用いてもよい。

【0101】その後は第4の実施形態と同様に、図37に示すように全体をSiO<sub>2</sub>絶縁膜76'で埋め込んで平坦化し、図38に示すように上部配線80を形成してTMR素子（接合部）75の形成プロセスは完了する。

【0102】ここで、接合部を規定するためのマスク層としては、DLCやポリイミド等の非感光性有機材料を用いることも出来る。これらの材料をマスク層をして用いた場合には、そのパターニングにはO<sub>2</sub>を反応性ガスとしたドライエッチングを用いることが出来るため、下地の金属コンタクト層との選択比を非常に大きくとることが出来るため、マスク層のパターニングの際に、下地の平坦性が損なわれる心配が殆ど無い。但し、その場合は最初に線状パターンを規定するフォトリソグラフィにおいて、シリル化プロセスといったレジスト表面の耐O<sub>2</sub>プラズマ処理、もしくは多層レジストプロセスが必要である。また、DLCや非感光性有機材料は非晶質であるために、0.1μmオーダーの微小パターンを形成した場合にも、非常に平滑な側壁形状が得られるといった特長を持つ。

【0103】第5の実施形態においても、角部が直角に形成された長方形のTMR素子を得ることができる。

【0104】（第6の実施形態）次に第6の実施形態として、線状パターン形成とドライエッチングを3回繰り返すことにより、TMR素子の接合部形状をより低保持力特性が得られるように形成する方法について説明す

る。

【0105】図5の接合部形状と保持力の関係のグラフから分かるように、(a)の角部が十分先鋭化している矩形パターンの他にも、(b)の矩形の対角する2つの角を落としたような図形も、比較的低保持力特性が得られると考えられる。

【0106】図5の(b)のような接合部形状は、図39に示すように、線状パターン82、83、84の形成とドライエッチングを3回繰り返すことにより、斜線部で示した接合部81として、正確に得ることが出来る。さらにまた、このような線状パターン形成とエッチングを複数回繰り返すことにより、非常に精度良く、こういった凸多角形の接合形状を得ることも可能である。

【0107】このような、複数回の線状パターン形成とドライエッチングというプロセスは第4の実施形態のような接合部まで線状パターンでエッチングしてしまう方法と第5の実施形態のようなマスク層だけを線状パターンでエッチングする方法の両方、もしくはその併用の方法に適用できることは明らかである。

【0108】さらにまた、上記の多重線状パターン形成の手法を、MRAMにおいて格子状に配列される複数のTMR素子の形成に用いる場合には、リソグラフィ工程を効率化させることができる。

【0109】(第7の実施形態)第7の実施形態として、本発明の第2の実施形態(図7)のTMR素子の製造方法を説明する。図40に示すように、第1の線状パターン92をフォトリソグラフィで形成する際に、同時にEB描画のスポット描画により、矩形となる端部で点対象となる2点の位置に半円形状のパターン93を追加する。この時、レジストとしてSAL601等といった電子線および遠紫外光に感度を有する化学増感型レジストを用いれば、フォトリソグラフィとEBリソグラフィを重ねて行うミックスアンドマッチの手法を用いることができ、一部に半球状の突起を有する線状パターン、即ちTMR素子91を形成することが出来る。

【0110】ここで、一般にEBリソグラフィはプロセススループットが低いプロセスではあるものの、上記のようなスポット描画だけならば直径50nmのパターンを非常に高速に描画することが出来る。例えば、化学増感型のSAL601レジストを用いて100pAのビーム電流でスポット描画を行えば、メモリ容量1Gbitに対応する約10<sup>9</sup>個のスポットをわずか数分で描画することが可能である。よって、フォトリソグラフィによる約0.1μm幅の線状パターン露光とEBリソグラフィによる直径約50nmのスポット露光を組み合わせることで、1Gbit相当のMRAMを生産性良く作製することが出来る。

【0111】上記の強磁性トンネル接合は、磁気記録素子、磁気抵抗効果型磁気ヘッド、磁気再生装置等に適用することができる。以下、本発明の磁気抵抗効果素子の

応用例の実施形態を説明する。

【0112】(第8の実施形態)第8の実施形態では、本発明の磁気抵抗効果素子を磁気記録装置(MRAM)に適用した例を説明する。

【0113】一般に、MRAMにおいては、小さなダイサイズで大容量であることが要求される。従って、配線幅は勿論のこと、各セルの面積は必然的に小さくならざるを得ない。しかし、本発明の磁気抵抗効果素子を用いることによりスイッチング磁場が低減できるため、記憶ビットの書き込みの際に必要な書き込み電流が小さくて済み、消費電力を抑え、かつ高速なスイッチングが可能となる。従って、本発明の磁気素子は、MRAMのセルに用いるのに好適である。

【0114】図41は個別の記録素子の構成を説明するための断面図、図42はMRAMの模式的な回路図である。

【0115】MRAMは、図42に示すように、ローデコーダ140で制御される複数の読み出しワード線WL1(122)と、カラムデコーダ150で制御され、ワード線122と交差する複数のビット線BL(134)を備える。ワード線122とビット線134の各交点には、本発明の磁気抵抗効果素子(例えば第3の実施形態の10、20、30、40、或いは第7の実施形態の91等)と、ワード線122によりその導通が制御されるスイッチ(導通制御素子)としてのMOSFET120を備える。また、読み出しワード線122と平行方向に、磁気抵抗素子10に近接して延在する書き込みワード線WL2(131)を備える。

【0116】各メモリ素子は図40のように構成されている。半導体基板の表面にMOSFET120を形成する。123、124がソース・ドレイン領域であり、ゲート電極122が延在して形成され、ワード線WL1(122)となる。ソース・ドレイン領域の一方124に接続したコンタクト132を介して、下地配線133が形成されており、この下地配線133とビット線134の間に本発明の磁性抵抗効果素子10を形成する。また、磁気抵抗効果素子10に近接して書き込み用のワード線WL2(131)を形成する。

【0117】なお、MOSTランジスタの代わりにダイオードを本発明の磁気抵抗効果素子と積層してMRAMを構成してもよい。即ち、ワード線上にダイオードと本発明の磁気抵抗効果素子からなるセルを積層して形成し、磁気抵抗効果素子上にビット線を配置して形成し、さらにこのセルを多数個アレイ状に配置することで、MRAMが構成できる。このようなMRAMは、携帯電話等の形態端末のメモリ部に搭載できる。

【0118】(第9の実施形態)第9の実施形態は、本発明の磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに応用した例を説明する。

【0119】図43は、第3の実施形態の磁気抵抗効果

素子 10 (20、30、40、91 であってもよい) を搭載した磁気ヘッドアセンブリの斜視図である。アクチュエータアーム 301 は、磁気ディスク装置内の固定軸に固定されるための穴が設けられ、図示しない駆動コイルを保持するボビン部等を有する。アクチュエータアーム 301 の一端にはサスペンション 302 が固定されている。サスペンション 302 の先端には信号の書き込み、および読み取り用のリード線 304 が配線され、このリード線 304 の一端はヘッドスライダ 303 に組み込まれた磁気抵抗効果素子 10 の各電極に接続され、リード線 304 の他端は電極パッド 305 に接続されている。

【0120】図 44 は、図 43 に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気ディスク装置 (磁気再生装置) の内部構造を示す斜視図である。磁気ディスク 311 はスピンドル 312 に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより回転する。

【0121】アクチュエータアーム 301 は固定軸 313 に固定され、サスペンション 302 およびその先端のヘッドスライダ 303 を支持している。磁気ディスク 311 が回転すると、ヘッドスライダ 303 の媒体対向面は磁気ディスク 311 の表面から所定量浮上した状態で保持され、情報の記録再生を行う。

【0122】アクチュエータアーム 301 の基端にはリニアモータの一種であるボイスコイルモータ 314 が設けられている。ボイスコイルモータ 314 はアクチュエータアーム 301 のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルとこのコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成されている。

【0123】アクチュエータアーム 301 は、固定軸 313 の上下 2 箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって支持され、ボイスコイルモータ 314 により回転駆動が自在にできるようになっている。

【0124】上記のように本発明の磁気抵抗効果素子を使用した磁気ヘッドあるいは磁気再生装置は、従来の磁気抵抗効果素子より高速で安定した動作と大容量化が可能になる。

【0125】

【発明の効果】本発明の磁気抵抗効果素子においては、保磁力が小さく、またスイッチング磁場が小さい。この素子を磁気メモリのメモリセルとして用いた場合、磁化反転に必要な磁場を生成するための書き込み配線電流を小さくすることができる。従って、本発明の磁気素子をメモリセルとした磁気メモリでは高集積化が可能であり、かつ、消費電力を低減するとともに、スイッチング速度を高速化することが可能となる。

【0126】また、本発明の磁気抵抗効果素子の製造方法によれば、上記の素子を容易なプロセスで、歩留まり

良く製作することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明における磁気抵抗効果素子の概略平面図。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子で、磁化の方向を示した平面図。

【図 3】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の磁化ヒステリシス図。

【図 4】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の磁化反転過程を示した図。

【図 5】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子 (g) の保磁力を他のさまざまな形状を持つ素子 ((a) ~ (f)) の保磁力と比較した図。

【図 6】本発明に対する比較例のひとつの形状と磁化の方向を示した図。

【図 7】本発明の第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の形状と磁化の方向を示した平面図。

【図 8】第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の磁化ヒステリシス図。

【図 9】本発明の第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 10】第 3 の実施形態に係る他の磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 11】第 3 の実施形態に係る更に他の磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 12】第 3 の実施形態に係る更に他の磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 13】第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子 (e) の保磁力を他のさまざまな形状を持つ素子 ((a) ~ (d)) の保磁力と比較した図。

【図 14】本発明の磁気抵抗効果素子の形成法を説明する模式的な平面図。

【図 15】本発明の第 4 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の作製プロセスを説明するための素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 16】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 17】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 18】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 19】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 20】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 21】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 22】前図に続く工程を説明する素子の断面図 (a) と平面図 (b)。

【図 23】前図に続く工程を説明する素子の断面図

(a)と平面図(b)。

【図24】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図25】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図26】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図27】本発明の第5の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の作製プロセスを説明するための素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図28】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図29】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図30】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図31】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図32】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図33】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図34】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図35】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図36】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図37】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図38】前図に続く工程を説明する素子の断面図(a)と平面図(b)。

【図39】本発明の第6の実施形態に係る磁気抵抗効果

素子の製造方法を説明する模式的な平面図。

【図40】本発明の第7の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を説明する模式的な平面図。

【図41】本発明の第8の実施形態に係るMRAMの1セルの構成を示す模式的な断面図。

【図42】第8の実施形態のMRAMの回路図。

【図43】本発明の第9の実施形態に係る磁気ヘッドの模式的な斜視図。

【図44】第9の実施形態に係る磁気ヘッドを使用した磁気再生装置の模式的な斜視図。

【図45】微小な磁性体において現われる一般的な磁氣的構造を示した図。

【図46】従来の磁気抵抗効果素子の作製プロセスを断面図と平面図の対で段階的に示す図。

【符号の説明】

1、3、5、11、13、15、11-1、11-2…強磁性層

2、12、14…バリア層

16、17…非磁性層

20 10、20、30、40…磁気抵抗効果素子

61、71…Si基板

62、72…下部配線層

63、73…MTJ層

64、74…コンタクト層

65、75…接合部(TMR素子)

66、66'、76、76'…絶縁層

67、68、77、78…フォトリソグレイ(マスク層)

69、80…上部配線層

81、91…接合部(TMR素子)

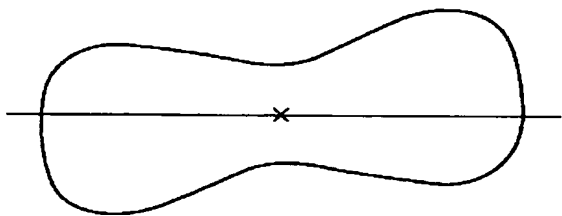
30 82、92…第1の線状パターン

83、94…第2の線状パターン

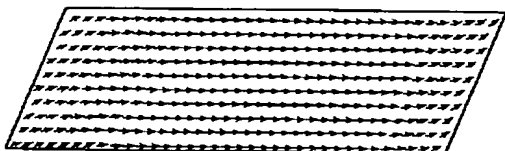
84…第3の線状パターン

93…EB描画パターン

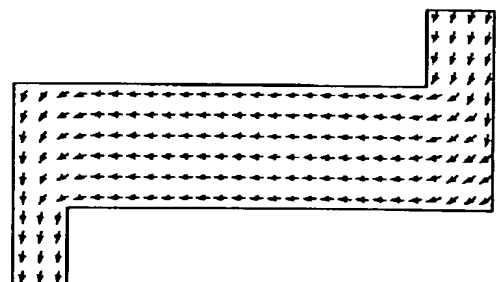
【図1】



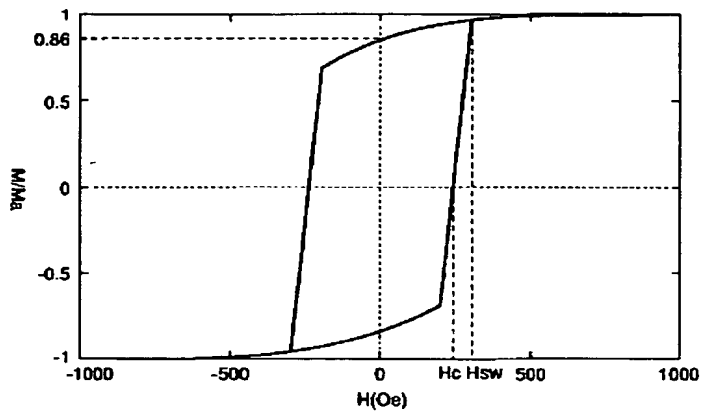
【図6】



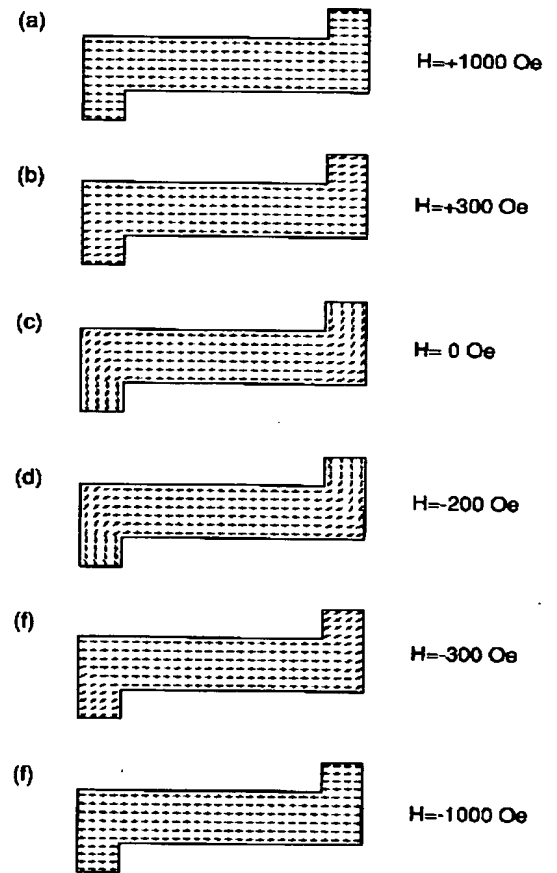
【図2】



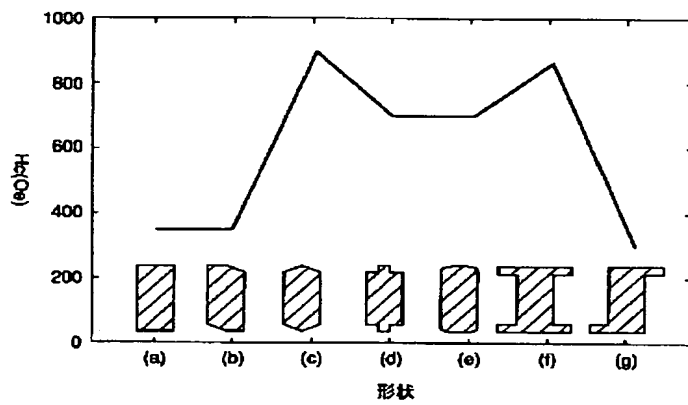
【図 3】



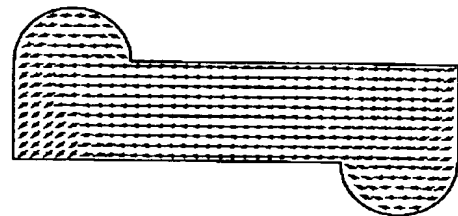
【図 4】



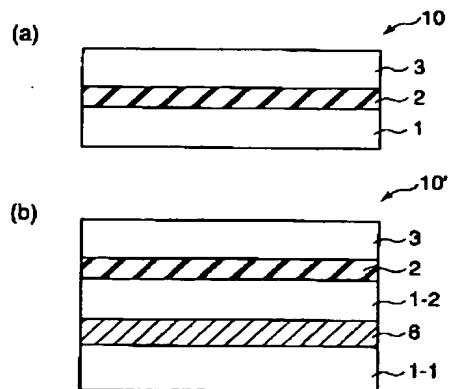
【図 5】



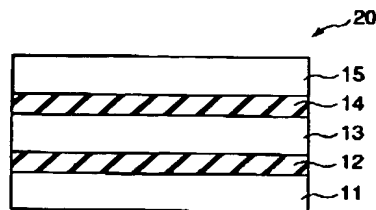
【図 7】



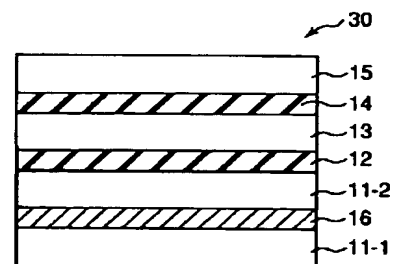
【図 9】



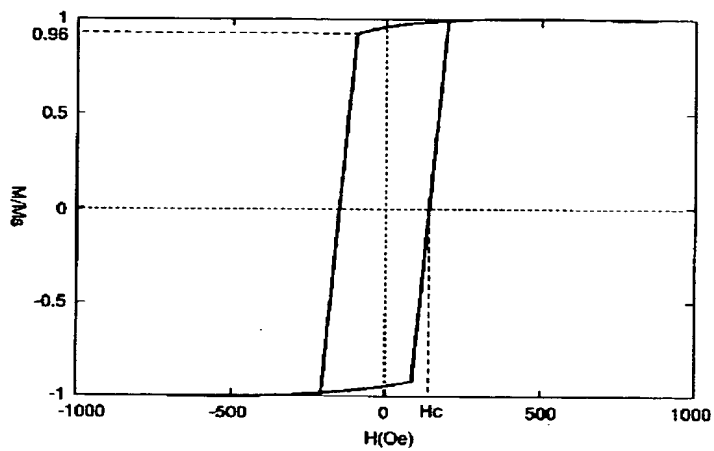
【図 10】



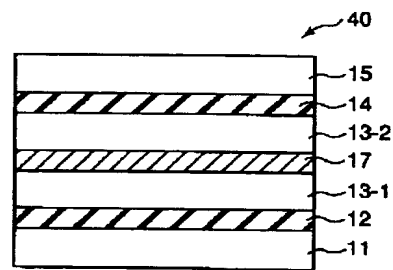
【図 11】



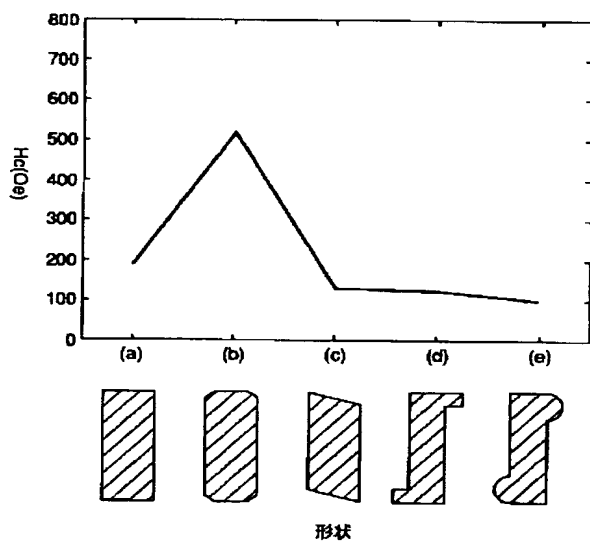
【図8】



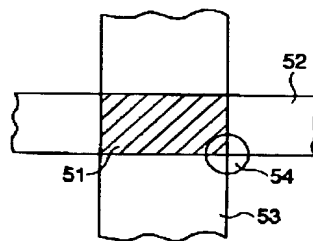
【図12】



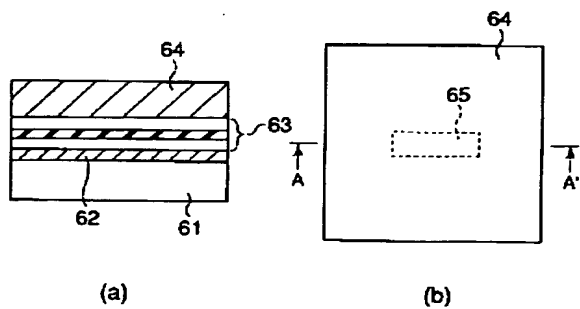
【図13】



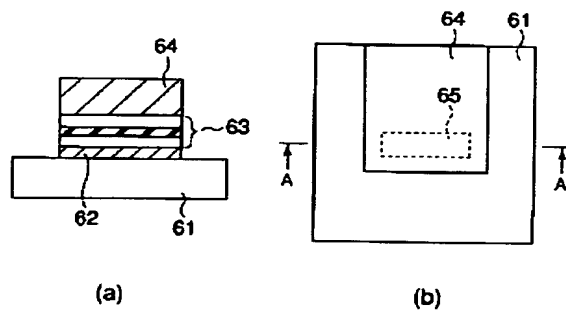
【図14】



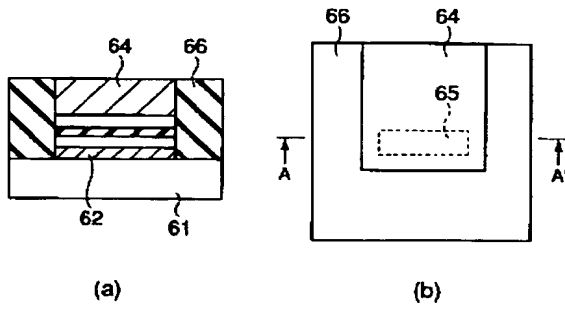
【図15】



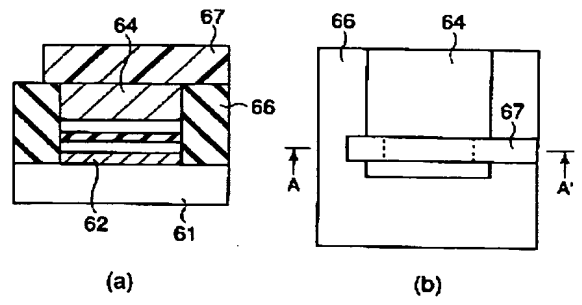
【図16】



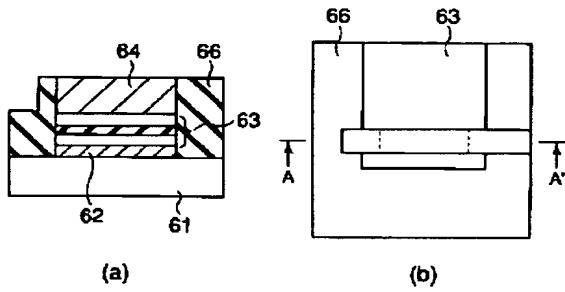
【図 17】



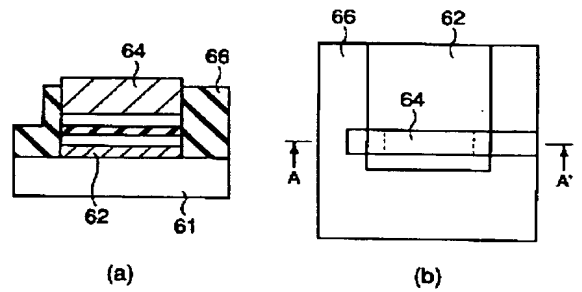
【図 18】



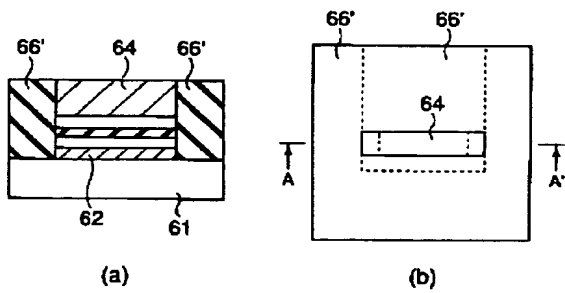
【図 19】



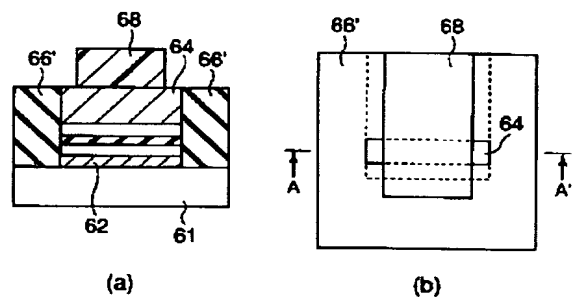
【図 20】



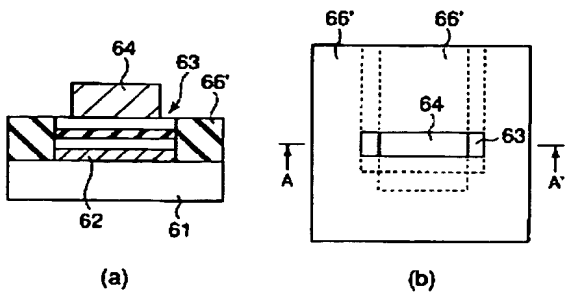
【図 21】



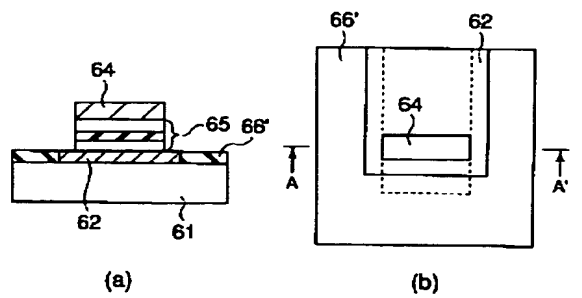
【図 22】



【図 23】

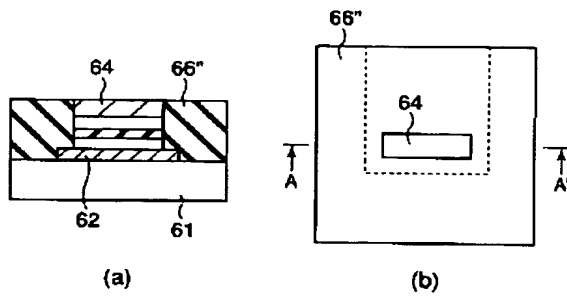


【図 24】

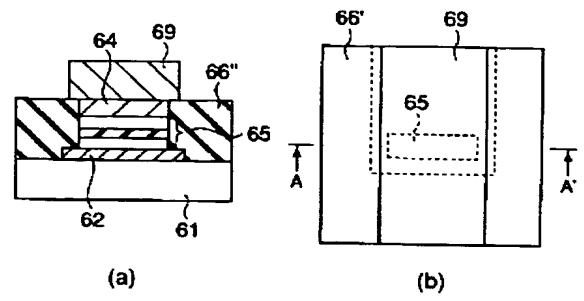




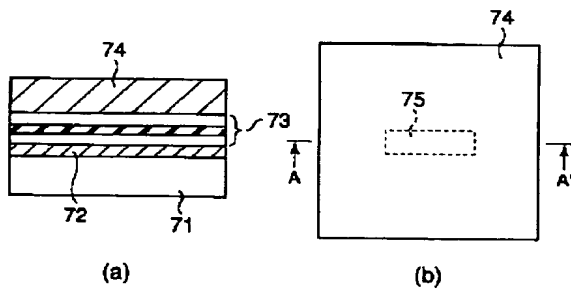
【図25】



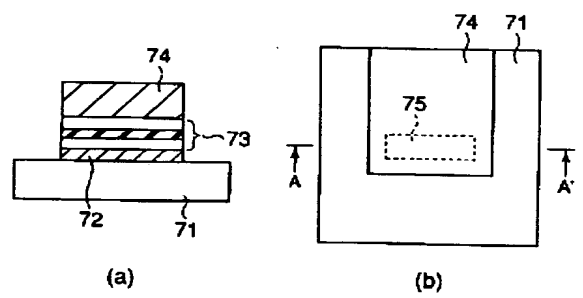
【図26】



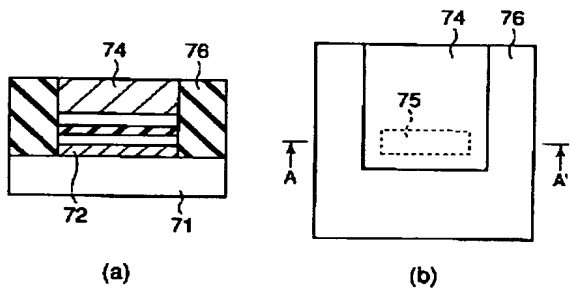
【図27】



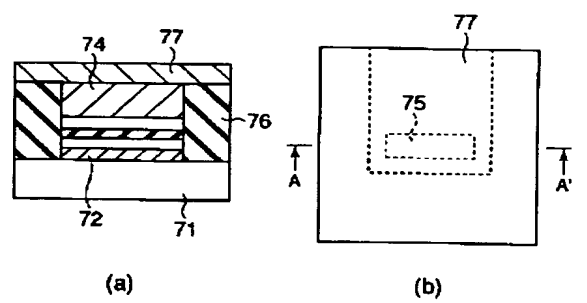
【図28】



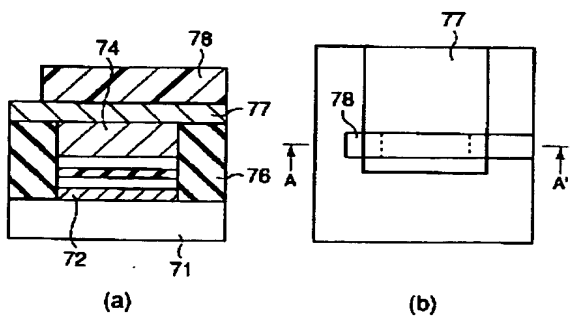
【図29】



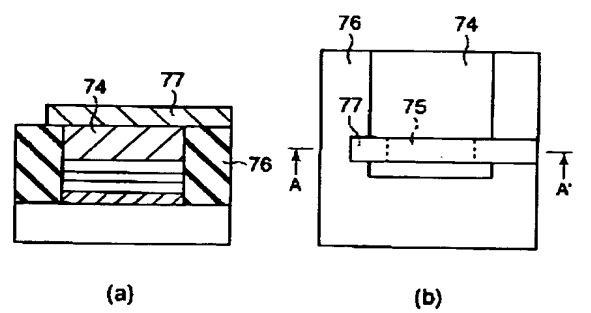
【図30】



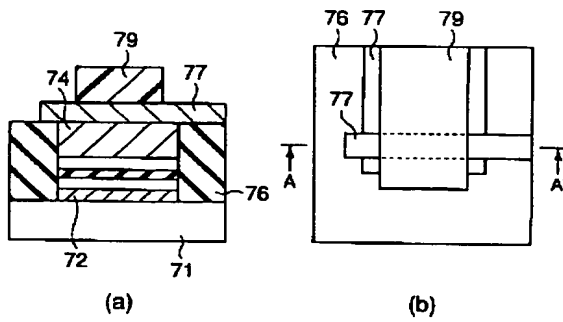
【図31】



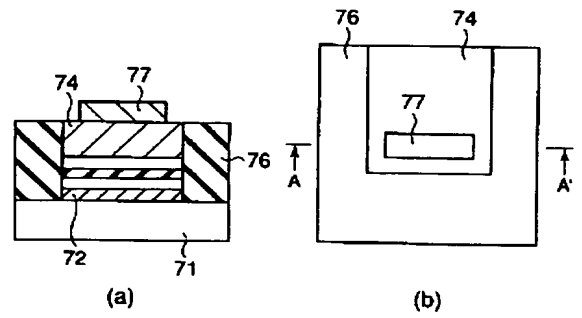
【図32】



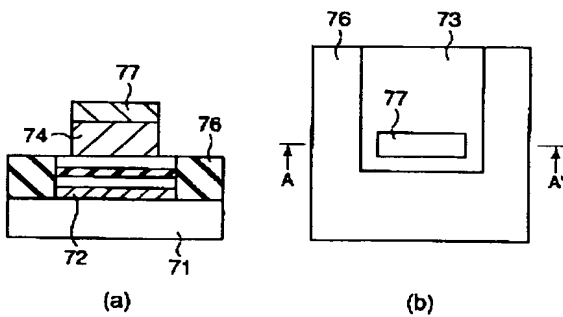
【図33】



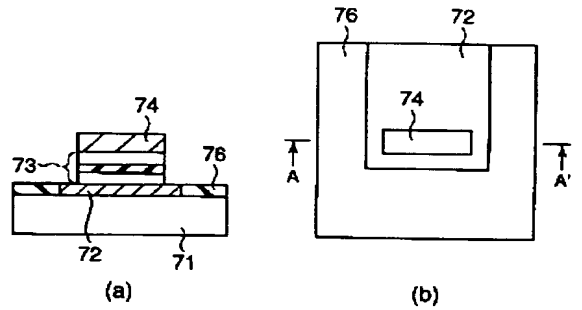
【図34】



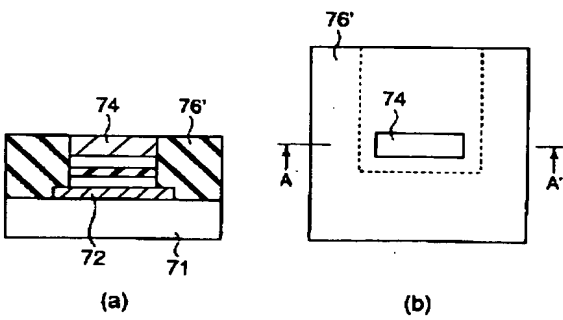
【図35】



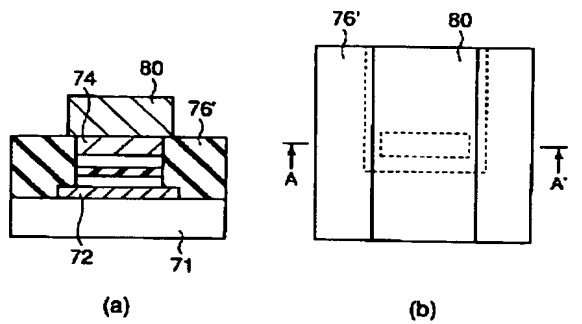
【図36】



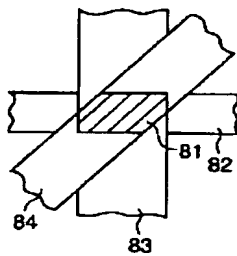
【図37】



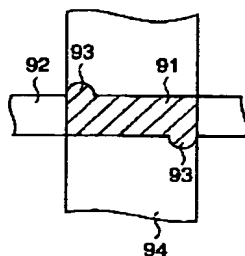
【図38】



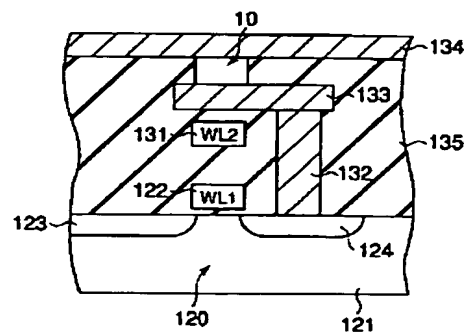
【図39】



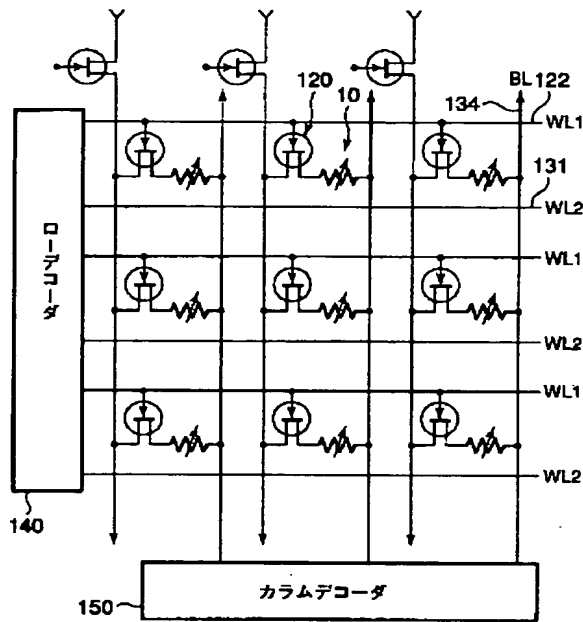
【図40】



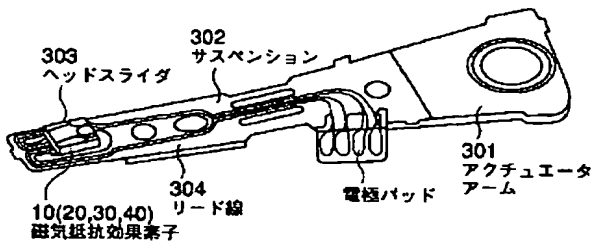
【図41】



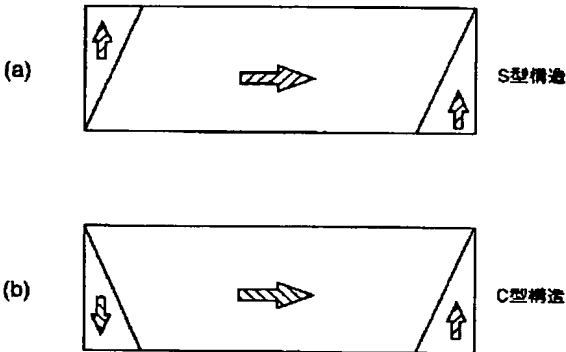
【図42】



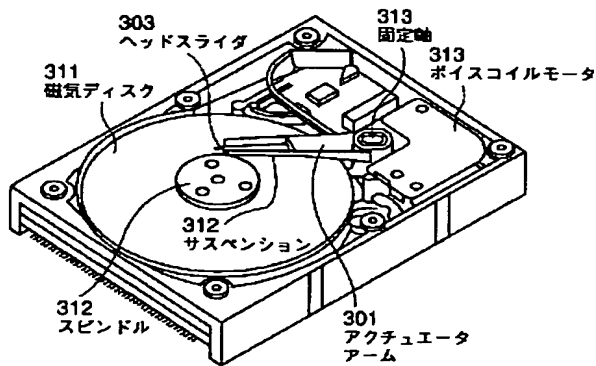
【図43】



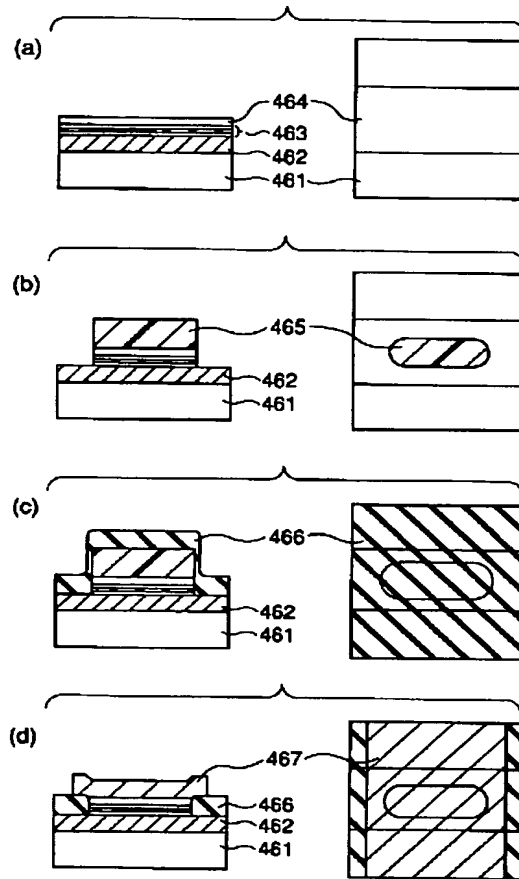
【図45】



【図44】



【図46】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーム(参考)
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/32	
		H 0 1 L 43/12	
H 0 1 L 27/105		G 0 1 R 33/06	R
43/12		H 0 1 L 27/10	4 4 7
(72)発明者 中島 健太郎	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内	(72)発明者 齊藤 好昭	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内
(72)発明者 天野 実	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内	F ターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD55 AD65	5D034 BA03 BA08 BA15 DA07
(72)発明者 砂井 正之	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内		5E049 AA01 AA04 AA07 AA09 AC00
			AC05 BA12 CB02 DB12
			5F083 FZ10 GA09 GA27 GA30 JA39
			JA56 PR01 PR03 PR04 PR39
			PR40